

Икрамов Рустамжон Гуломжонович.

Наманган мухандислик технология институти профессори

rgikamov@mail.ru

Мўминов Хуршидбек Адхамжон ўғли.

Наманган мухандислик технология институти доценти

xamuminov@mail.ru

Тел: +998936722776

ПАСТ ТЕМПЕРАТУРАЛАРДА $a\text{-Si:H}$ НИНГ ХАРАКАТЧАНЛИК ТИРҚИШИНИ ТЕМПЕРАТУРАГА БОҒЛАНИШИ

УДК 621.315.592

Annotatsiya: Ушбу ишда аморф гидрогензацияланган кремний ($a\text{-Si:H}$) нинг зонлараро оптик ютилиш коэффициентининг температурага боғланишини тажрибалардан аниқланган қийматларидан фойдаланиб назарий усулда паст температураларда $a\text{-Si:H}$ ни ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги хароратга боғликлиги Я.П.Варшни ва Бозе –Эйништейн формулаларидан ўрганилган.

Kalit so'zlar: аморф гидрогензацияланган кремний, оптик ютилиш коэффициенти, температура, Ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги. Я.П.Варшни формуласи, Бозе-Эйништейн формуласи.

Икрамов Рустамжон Гуломжонович.

Наманганского инженерно-технологического институт профессор

Муминов Хуршидбек Адхамджон угли.

Наманганского инженерно-технологического институт доцент

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЩЕЛЫ ПОДВИЖНОСТИ $a\text{-Si:H}$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Аннотация: В данной работе теоретически исследована температурная зависимость коэффициента межзонного оптического поглощения при низких температурах аморфного гидрогенизированного кремния ($a\text{-Si:H}$) с

использованием экспериментально определенных значений энергетической ширины запрещенной подвижности $a\text{-Si:H}$ из формулы Я.П. Варшного и Бозе-Эйнштейна.

Ключевые слова: аморфный гидрогенизированный кремний, коэффициент оптического поглощения, температура, энергетическая ширина запрещенной зоны. формула Я.П. Варшни, формула Бозе-Эйнштейна.

Ikramov Rustamjon Gulomjonovich.

Namangan Engineering and Technology Institute, professor

Muminov Khurshidbek Adhamjon ugli.

Namangan Engineering and Technology Institute, associate professor

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE BAND GAP OF $a\text{-Si:H}$ AT LOW TEMPERATURES

Abstract: In this paper, the temperature dependence of the interband optical absorption coefficient at low temperatures of amorphous hydrogenated silicon ($a\text{-Si:H}$) is theoretically investigated using experimentally determined values of the energy width of the forbidden mobility of $a\text{-Si:H}$ from the formula of Y.P. Varshni and formula of Bose-Einstein.

Key words: amorphous hydrogenated silicon, optical absorption coefficient, temperature, energy band gap Y.P. Varshni's formula, formula Bose-Einstein's.

КИРИШ

Маълумки, яримўтказгичларнинг тақиқланган зона энергияси одатда ҳароратнинг ошиши билан камаяди. Ушбу таъсирга қўшни атомларнинг электрон тўлқин функциялари ўртасидаги ўзаро боғлиқликни камайтирадиган кристалл панжаранинг термал кенгайишига келади. Кўп яримўтказгичларда тақиқланган зонасининг ўзгариши 2 дан 20% гача бўлади. Асосан ҳарорат эффекти электрон-фонон ўзаро таъсирига боғлиқ. Кристалл қаттиқ жисмнинг электрон энергия зонасининг бир электронли назарияси кристалл панжара даврий такрорланишига асосланади. Паст

ҳароратларда электронлар ва фононларнинг ўзаро таъсири электрон энергиясининг ўзгаришига олиб келади. Бу тақиқланган зонасининг ҳарорат билан ўзгаришига олиб келади. Аморф яримўтказгичлар структурасининг ҳароратга боғлиқлиги учун баъзи назариялар таклиф қилинган, аммо улар анча мураккаб. Экспериментал натижаларни аниқ назарий формула билан тўғридан-тўғри солиштириш мумкин эмаслиги сабабли, тақиқланган зонанинг ҳароратга боғлиқли ўзгаришини ($E_g(T)$) эмпирик Варшни тенгламаси

$$\Delta E_g(T) = \alpha T^2 / (\beta + T)$$

Бу эрда α доимий, β эса Дебай ҳарорати билан боғлиқ.

Варшни тенгламаси кристалл яримўтказгичлар учун тақиқланган зона кенглигини ва аморф яримўтказгичларнинг ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги ҳароратга боғлиқлигини ифодалайди. Бу тенгламанинг назарий асосларидаги бази параметрлари аниқлашда номаълум параметрлар мавжуд. Дебай ҳарорати билан боғлиқ деб тахмин қилинган параметр маълум ҳолатларда аниқланган. Аморф яримўтказгичларда термал ҳолатда ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги учун феноменологик ифода таклиф қилинди. Ушбу модел ўртача фонон частотасига эга бўлган фононларнинг ўзаро таъсири туфайли электрон ҳолатларнинг морфолизацияси билан киритилган. Шундай қилиб, бу ифода Бозе-Эйнштейн статистик омилини ўз ичига олади.

$$\Delta E_g(T) = 2\alpha_B / (\exp(\Theta/T) - 1)$$

Ушбу тенглама ўртача фонон частотаси билан боғлиқ ва ўзаро таъсир кучини тавсифлайди ва яримўтказгичлар учун мос параметрлар кўрсатилади. Бу тенглама аморф яримўтказгичларни экспериментал ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги температурага боғлиқлиги ифодалари мослаштирилган. Шунингдек, Бозе-Эйнштейн тенгламаси эса Варшни тенгламасидан кўра тақиқланган зона кенглигини ҳароратга боғлиқлигини ўзгаришини кўпроқ мос келади.

[1] ишда аморф гидрогензацияланган кремний (a-Si:H) нинг зонлараро оптик ютилиш коэффициентининг температурага боғланишини тажрибалардан аниқланган қийматлари келтирилган (1-расм). [2] ишда эса зоналараро ютилиш спектри учун назарий усулда Дэвис-Моот яқилашиш усулига кўра ёзилган Кубо-Гринвуд формуласидан қуйидаги ифода олинган:

$$\alpha_2(\hbar\omega) = \frac{B}{4\hbar\omega E_g} \left[2(\hbar\omega - E_g) \sqrt{E_g \hbar\omega - (E_g - \hbar\omega)^2} \arctg \left(\frac{E_g - \hbar\omega}{2\sqrt{E_g \hbar\omega}} \right) \right]. \quad (1)$$

Бу ерда B - ютилган фотонларни энергиясига боғлиқ бўлмаган пропорционаллик коэффициенти, E_g - a-Si:H ни ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглиги. (1) ифодадан зоналараро ютилиш спектрини ҳисоблаш учун, бу формуладаги B ва E_g ни аниқлаш керак. Бунинг учун 1 - расмда келтирилган тажриба натижаларига (1) формуладаги B ва E_g ларни мослаштирувчи параметр сифатида қараб, Бу формуладан олинган ҳисоблаш натижаларини мослаштирамиз. Тажриба ва ҳисоблаш натижалари бир-бирига мос келиши учун B ва E_g лар учун олинган натижалар 1- расм (чизиқлар) ва 1 жадвалда келтирилган.

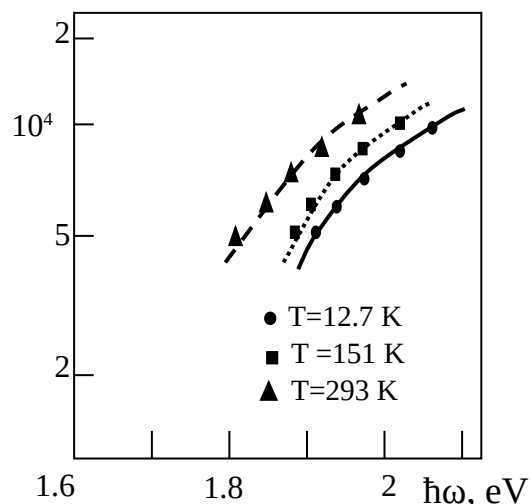
1 Жадвал

№	T, K	E_g , eV	B , cm^{-1}
1	12.7	1.866	$1.731 \cdot 10^5$
2	151	1.85	$1.853 \cdot 10^5$
3	293	1.81	$1.75 \cdot 10^5$

[3] ишда яримўтказгичларни таққ зонаси энергетик кенглигини температурага боғланиши аниқловчи ифода:

$$E_g = E_{g0} - \alpha T^2 / (T + \beta) \quad (2)$$

кўринишда бўлиши келтирилган. Бу ерда E_{g0} – $T=0$ K температурадаги таққ зонанинг кенглиги, α – таққ зонанинг

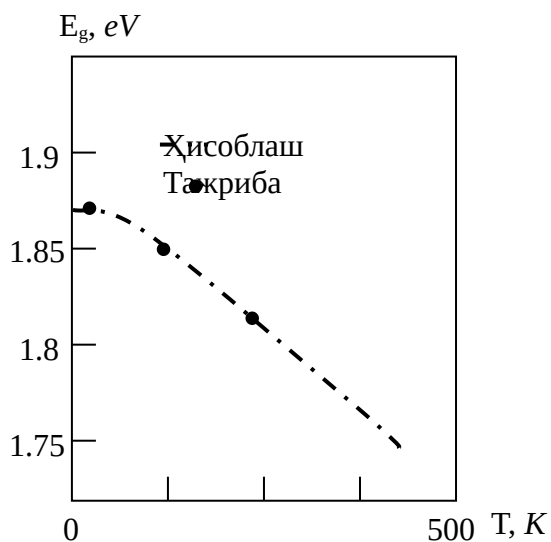


1 – расм. [1] ишдаги тажриба ва (1) формуладан олинган ҳисоблаш натижалари.

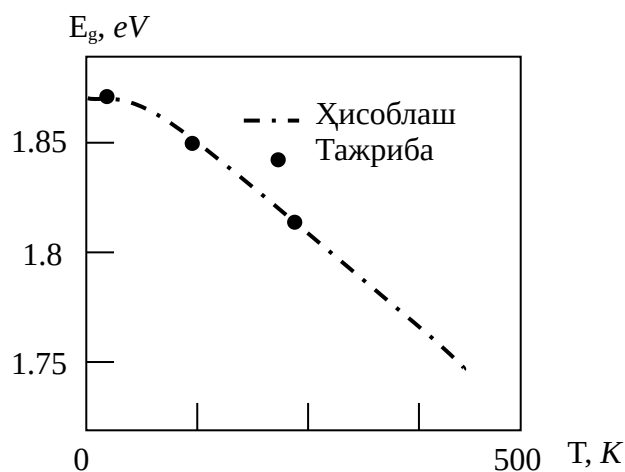
температура коэффициенти, β – ўзгармас катталиқ. 1 жадвалдаги ҳаракатчилик тирқишини қийматларини (2) формулага қўйиб бажарилган ҳисоблашлар $\alpha = 3.45 \cdot 10^{-4}$ eV/K, $\beta = 234$ K га тенг бўлганда бу қийматлар (2) формулага мос келишини кўрсатди. Бу натижалар 2 - расмда кўрсатилган. [4] ишда яримўтказгичларни тақққ зонаси энергетик кенглигини температурага боғланиши аниқловчи ифода:

$$\Delta E_g(T) = 2\alpha_B / (\exp(\Theta/T) - 1) \quad (3)$$

кўринишда бўлиши келтирилган (Бозе- Эйнштейн тенгламаси). Бу ерда $\Delta E_g(T)$ - тақққ зона энергетик кенглиги температурага боғлиқ равишда ўзгариши, α_B – тақққ зонанинг температура коэффициенти, Θ – ўзгармас катталиқ. 1 жадвалдаги ҳаракатчилик тирқишини температурага боғланиши ариқлаш учун (3) формулага қўйиб бажарилган ҳисоблашлар $\alpha_B = 2.57 \cdot 10^{-2}$ eV, $\Theta = 191$ K га тенг бўлганда бу қийматлар (2) формулага мос келишини кўрсатди. Бу натижалар 3 - расмда келтирилган.



2 - расм. Ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглигини температурага боғланиши $\alpha = 3.45 \cdot 10^{-4}$ eV/K, $\beta = 234$ K қийматлар учун (2) формулани ҳисоблашдан ва тажрибадан олинган натижалар.



3 - расм. Ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглигини температурага боғланишию $\alpha_B = 2.57 \cdot 10^{-2}$ eV, $\theta = 191$ K қийматлар учун (2) формулани ҳисоблашдан ва тажрибадан олинган натижалар.

ХУЛОСА

Ушбу ишда тобланган a-Si:H нинг ҳаракатчанлик тирқишини юқори температурага боғланиши ҳароратнинг 20 °C дан 625 °C гача бўлган қийматларда тажрибадан олинган қийматлардан назарий ҳисобланган аморф яримўтказгичлар зоналараро ютилиш спектрини ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглигига боғланиши ифодасидан аниқланди. Ҳаракатчанлик тирқишининг энергетик кенглигини температурага боғланишидан турли температураларда олинган қийматларни назарий ҳисобланган. Бу аниқланган қийматларни таққослаш учун уч параметрли моделлар (яъни, Варшни формуласи ва Босе-Ейнштейн билан боғлиқ модел) билан биз кўриб чиқиладиган a-Si:H материаллар учун мос келадиган муқобил мосликларни бажарилди. Сўров бўйича барча материаллар учун энг яхши мос келади. Экспериментал равишда танланган a-Si:H нинг юқори ҳароратларида тўрт параметрли модел бўйича физик жиҳатдан назарий ҳисоблашлар натижаси келтирилган. Варшни формуласи чегараланган қийматларда ташқари ошириб баҳолашни ўз ичига олади. Демак, бу формуладан фойдаланилганда, одатда, тегишли натижаларни бера олмайди. Варшни формуласининг асосий аналитик камчиликлари унинг умумий қобилияцизлигидан иборат. Ҳар хил кенг энергетик кенгликлар учун мос келадиган бурилиш ҳароратини баҳолаш уларнинг ҳарорат шкаласидан анча юқорироқ жойда жойлашганлигини кўрсатади. Одатда анъанавий яримўтказгичлар учун топилади (тармоқли ўтказгичлар <2eV). Бу ўзига хос хусусият Дебай температурасининг юқори катталиклари билан комбинацияси ($T > 600\text{K}$), Варшни формуласининг аниқ параметрларни аналитик қийматлари ва одатда тажриба йўли билан танланган қийматларида ҳароратининг жуда паст қиймати ($T_{\text{max}} = 300\text{K}$)

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. G.D. Cody, T. Tiedje, B. Abeles, B. Brooks and Y. Goldestein. Disorder and the Optical-Absorption Edge of Hydrogenated Amorphous Silicon. Physical Review Letters, V 47, N 20, (1981), pp. 1480-1483.

2. Зайнобидинов С., Икрамов Р.Г., Жалалов Р.М., Нуритдинова М.А. Распределения плотности электронных состояний в разрешенных зонах и межзонные поглощения в аморфных полупроводниках. //Оптика и спектроскопия. (2011), Т. 110, № 5. С. 813-818.
3. Y. P. Varshni. Temperature dependence of the energy gap in semiconductors. Physical 34, (1967), pp. 149-154.
4. Qixin Guo, Akira Yoshida. Temperature Dependence of Band Gap Chang in InN and AlN. Pn.J.appl. Phys. Vol.33 (1994) pp. 2453-2456.